МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института ХТИ
_____ Ястребинский Р.Н.
«15» 05 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)

Химические реакторы

направление подготовки (специальность):

18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики»

Направленность программы (профиль, специализация):
18.05.02-06 «Ядерная и радиационная безопасность на объектах использования ядерной энергетики»

Квалификация

инженер

Форма обучения

Очная

Институт: химико-технологический

Кафедра: технология стекла и керамики

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации 07 августа 2020 г., приказ № 913.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель (составители): к.т.н., доцент _____ (Алексеев С.В.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой

Теоретической и прикладной химии
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор _____ (Павленко В.И.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

"27" апреля 2021

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

«27» 04 2021 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой: _____ (Лорошов В.А.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

«15» 05 2021 г., протокол № 9

Председатель: к.т.н., доцент _____ (Порожнюк Л.А.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-2 Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.	ОПК-2.3. Владеет основами технологических процессов и осваивает с применением базовых навыков технологическое оборудование.	**Знать:** − виды современного технологического и аналитического оборудования, применяемого в химическом производстве. **Уметь:** − подбирать необходимое технологическое оборудование. **Владеть:** − методами теоретического и эмпирического исследования технологических процессов.
		ОПК-2.4. Осуществляет контроль технологического процесса в соответствии с регламентом и использует технические средства для измерения основных параметров технологического процесса.	**Знать:** − теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа; − методы обработки результатов анализа. **Уметь:** − выбирать метод анализа результатов научных исследований. **Владеть:** − методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования.
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен планировать и осуществлять экспертизу системы радиационной безопасности объекта экономики, осуществлять контроль мероприятий по её развитию и улучшению	ПК-3.1. Обеспечивает безопасную эксплуатацию и контроль оборудования в технологических процессах ядерно-топливного цикла на объектах использования атомной энергии	**Знать:** основы теории процесса в химическом реакторе, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем, основные реакционные процессы и реакторы химической технологии; методы и

			средства диагностики и контроля основных технологических параметров; **Уметь:** произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса, определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе, технологическую эффективность; **Владеть:** методами расчета и анализа процессов в химических реакторах, определения технологических показа-телей, методами выбора химических реакторов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

2.1. Компетенция ОПК-2 Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Электротехника и промышленная электроника
2	Процессы и аппараты химической технологии
3	Аналитическая химия и физико-химические методы анализа
4	Общая химическая технология
5	Методы аналитического контроля в производстве материалов современной энергетики

2.2. Компетенция ПК-3 Способен планировать и осуществлять экспертизу системы радиационной безопасности объекта экономики, осуществлять контроль мероприятий по её развитию и улучшению.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Безопасность ядерно-энергетических установок

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зач. единиц, 288 часов.

Форма промежуточной аттестации экзамен

(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	288	288
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	107	107
лекции	34	34
лабораторные	-	-
практические	68	68
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	181	181
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	145	145
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем

Курс 4 Семестр 7

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Предмет и содержание курса химические реакторы					
	Классификация основных типов реакторов. Выбор типа химического реактора. Физическое и математическое моделирование. Конструктивная разработка химических реакторов. Оптимизация процессов химической технологии	4			8
2. Расчет материального и теплового балансов.					
	Составление материального баланса. Стехиометрические расчеты. Общее уравнение материального баланса. Практический материальных баланс. Составление энергетического баланса. Тепловой баланс. Общее уравнение энергетического баланса. Практический тепловой баланс.	4	16		26
3. Технологический расчет химических реакторов					
	Общие положения. Расчет объемов реакторов. Гидравлический расчет химических реакторов. Расчет диаметра трубопровода. Расчет гидравлического сопротивления реактора. Тепловой расчет химических реакторов. Теплообмен в реакторах. Расчет реакторов периодического и непрерывного действия. Степень термодинамического совершенства технологического процесса. Расчет массообменных процессов в химических реакторах. Виды массообменных процессов в реакторах и способы их расчета. Механический расчет химических реакторов.	12	40		68
4. Конструкционные материалы химических реакторов					
	Виды конструкционных материалов. Классификация черных, цветных металлов и неметаллических материалов. Химически и коррозионно-стойкие материалы. Виды коррозии	4	4		12

	и химического разрушения материалов, способы защиты от коррозии. Влияние материалов на конструкцию реактора и способ его изготовления.				
5. Элементы химического реактора и способы их изготовления					
	Основные элементы. Оформление поверхности теплообмена. Перемешивающие устройства. Уплотнение вращающихся деталей. Вспомогательное оборудование. Виды вспомогательного оборудования.	4	8		16
6. Оптимизация и автоматизация работы химических реакторов					
	Оптимизация работы химических реакторов. Критерии оптимизации. Составление регрессионных уравнений и поиск экстремальных значений целевой функции. Автоматизация работы химических реакторов.	4			8
7.	Расчет химического реактора на примере…	2			7
	ВСЕГО	34	68		145

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1.	Расчет материального и теплового балансов.	Составление материальных балансов и расчет реакционной смеси	8	8
2.	Расчет материального и теплового балансов.	Составление тепловых балансов	8	8
3.	Технологический расчет химических реакторов	Расчет реакторов периодического и непрерывного действия	8	8
4.	Технологический расчет химических реакторов	Гидравлический расчет химических реакторов.	8	8
5.	Технологический расчет химических реакторов	Расчет тепловых и массообменных процессов	8	8
6.	Технологический расчет химических реакторов	Расчет реакторов идеального смешения и вытеснения	8	8
7.	Технологический расчет химических реакторов	Расчет равновесных процессов в реакторах непрерывного действия	8	8
8.	Конструкционные материалы химических реакторов	Подбор конструкционных материалов	4	4
9.	Элементы химического реактора и способы их изготовления	Расчет конструкционных параметров химических реакторов	8	8
		ИТОГО:	68	68

4.3 Содержание лабораторных работ

Учебным планом не предусмотрены.

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Учебным планом не предусмотрены.

4.5. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий

Расчетно-графическое задание выполняется на тему «Расчет химического реактора» (используется конкретный вид реактора – реактор смешения, реактор вытеснения, каталитические реакторы с неподвижным и подвижным слоем катализатора, а также реакторы для гомогенных и гетерогенных процессов). Объем РГЗ – 20-25 страниц. Пояснительная записка содержит разделы: введение; краткое описание производимого продукта и реакций, протекающих в реакторе при его образовании; описание конструкции реактора, включая основные элементы и параметры процессов (температурный и гидравлический режим, рабочее давление); требуемые расчеты (констант скоростей реакций, концентрации реагентов, выхода продукта, объема ректора и основных размеров его конструкционных элементов).

Каждому студенту выдается индивидуальное задание для выполнения расчетно-графического задания.

Пример задания

Рассчитать реактор непрерывного действия для проведения процесса эмульсионной полимеризации G, т/сут. Концентрация мономера C_0, масс. %. Степень превращения x. Начальная температура T_0, температура реакции $T_р$.

Этапы работы:

1. Описать процесс эмульсионной полимеризации и определить основные требования для его проведения.
2. Привести обоснование выбора типа аппарата.
3. Определить общий рабочий объем реактора.
4. Определить диаметр аппарата и мешалки.
5. Определить частоту вращения мешалки.
6. Определить количество теплоты, выделяющееся при полимеризации.
7. Определить общее количество теплоты, отводимое из реактора.
8. Определить расход охлаждающего агента.
9. Определить геометрические характеристики теплообменника.

Некоторые темы расчетно-графических заданий

1. Рассчитать непрерывнодействующий реактор вытеснения для проведения процесса полимеризации в растворе по следующим данным. Производительности по сухому вещество G=864 кг/сут. Концентрация мономера в исходной смеси C_0=25 масс. %. Степень превращения мономера на входе x_0=0,1, на выходе x=0,96. Температура реакции $T_р$=308 К. Смесь подается при температуре реакции.

2. Рассчитать трубчатый реактор смешения непрерывного действия для проведения процесса полимеризации этилена G. Концентрация мономера C_0, масс. %. Степень превращения x.
3. Рассчитать каталитический реактор непрерывного действия с неподвижным катализатором для производства заданного вещества (см. таблицу 1) из синтез-газа производительностью G. Соотношение CO/H_2, степень превращения x приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вариант	Вещество	G, кг/сут.	CO/H_2	x
1.	Этилен	400		0,4
2.	Метанол	500	1:2	0,8
3.	Этанол	500	1:2	0,7
4.	Уксусная кислота	300	1:1	0,9
5.	Этиленгликоль	200	1:1,5	0,9
6.	Пропан	800	1:2	0,6

4. Рассчитать каталитический реактор непрерывного действия с подвижным слоем катализатором для производства аммиака производительностью 100 т/сут. Соотношение N_2/H_2.=1:3. Степень превращения 0,14

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенция ОПК-2 Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Владеет основами технологических процессов и осваивает с применением базовых навыков технологическое оборудование	Экзамен, защита РГЗ, выполнение контрольной работы, устный опрос.
Осуществляет контроль технологического процесса в соответствии с регламентом и использует технические средства для измерения основных параметров технологического процесса	Экзамен, защита РГЗ, выполнение контрольной работы, устный опрос.

2 Компетенция ПК-3 Способен планировать и осуществлять экспертизу системы радиационной безопасности объекта экономики, осуществлять контроль мероприятий по её развитию и улучшению.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания

Обеспечивает безопасную эксплуатацию и контроль оборудования в технологических процессах ядерно-топливного цикла на объектах использования атомной энергии	Экзамен, защита РГЗ, выполнение контрольной работы, устный опрос.

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена / дифференцированного зачета / зачета

№ п/п	Наименование контрольных вопросов
1.	Классификация химических реакторов
2.	Пути интенсификации работы реакторных устройств
3.	Реакторы непрерывного и периодического действия. Преимущества и недостатки.
4.	Производительность и интенсивность работы реактора
5.	Структурные элементы химических реакторов
6.	Требования к химическим реакторам
7.	Принципы математического моделирования химических реакторов
8.	Причины отклонений от идеальных режимов в химических реакторах
9.	Достоинства и недостатки адиабатических реакторов
10.	Характеристика адиабатического температурного режима
11.	Уравнения теплового баланса реактора идеального смешения в различных температурных режимах работы
12.	Оптимальный температурный режим реактора
13.	Влияние температуры на равновесный выход продуктов обратимых эндотермической и экзотермической реакций
14.	Уравнения теплового баланса адиабатического и политермического реакторов идеального вытеснения
15.	Понятие устойчивости работы реактора
16.	Способы создания развитой поверхности контакта между фазами
17.	Показатели работы химических реакторов
18.	Факторы влияющие на работу реакторных устройств
19.	Типовые конструкции реакторов для газожидкостных гетерогенных процессов
20.	устройство и принцип действия реактора с псевдоожиженным и плотно движущимся слоем катализатора. Опишите работу реактора каталитического крекинга со взвешенным слоем катализатора
21.	Модель РИС-Н, ее характеристическое уравнение для реакций различного порядка.
22.	Устройство реакторов для проведения гомогенных процессов
23.	Скорость гетерогенного процесса. Пути увеличения скорости гетерогенного ХТП.
24.	Устройство реакторов для проведения гетерогенных некаталитических

	процессов.
25.	Сравнение реакторов различных моделей по интенсивности и селективности.
26.	Понятие о температурном режиме реактора. Классификация реакторов по тепловому режиму.
27.	Отклонение реальных моделей химических реакторов от идеальных.
28.	Модель каскада реакторов идеального смешения, расчет числа ступеней каскада для достижения определенной степени превращения.
29.	Химические реакторы. Уравнение теплового баланса химического реактора.
30.	Смещение равновесия химической реакции под влиянием концентрации реагирующих веществ.
31.	Понятие о химическом равновесии. Термодинамическая вероятность химической реакции. Константа равновесия химической реакции.
32.	Характеристика изотермического режима для различных типов реакторов.
33.	Влияние температуры на скорость химической реакции.
34.	Классификация химических реакторов и режимов их работы.
35.	Кинетическая и диффузионная области протекания гетерогенного химико-технологического процесса. Способы определения области протекания реакции.
36.	Классификация химических реакций, лежащих в основе ХТП.
37.	Создание оптимального температурного режим в реакторах при проведении эндо- и экзотермических процессов.
38.	Влияние температуры на степень превращения простой необратимой реакции с различным тепловым эффектом. Условия, ограничивающие применение высоких температур при проведении химических реакций.
39.	Влияние концентрации на скорость химической реакции.
40.	Понятие о каталитических ХТП, особенности гетерогенного катализа.
41.	Скорость гомогенного и гетерогенного ХТП. Пути определения области реакции.
42.	Принцип Ле-Шателье. Сдвиг химического равновесия под влиянием температуры.
43.	Характеристика адиабатического режима для различных типов реакторов.
44.	Модель РИС-П, ее характеристическое уравнение для реакций различного порядка.
45.	Сравнение реакторов с различным тепловым режимом при проведении экзотермического процесса.
46.	Уравнение материального баланса химического реактора.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Оценочными средствами для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации являются контрольные работы.

Контрольная работа включает 3 задачи. К задаче прилагается таблица исходных данных. Номер варианта, который необходимо выполнить, выбирается в соответствии с предпоследней цифрой шифра студента.

Задачи относятся к расчету констант равновесия химических реакций и равновесных составов реакционных смесей, к расчету объемов реакторов идеального смешения и идеального вытеснения и к технологическим расчетам типовых реакторов, применяемых в различных отраслях химической технологии.

Перечень задач к контрольным работам

Задача 1. Обратимая химическая реакция A + B ↔ 2R протекает при температуре T. Тепловой эффект реакции при температуре T составляет ΔHT_0, изменение энтропии ΔST_0. Начальные концентрации реагентов равны CA_0 и CB_0. Определить состав реакционной смеси в момент равновесия. Исходные данные приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T, K	573	298	473	323	373	423	323	523	298	423
$-\Delta HT_0$, МДж/кмоль	55,8	26,6	38,2	31,7	41,5	46,4	37,1	54,5	26,0	41,5
$-\Delta ST_0$, кДж/кмоль·К	80	70	60	75	85	80	90	85	70	75
CA_0 , кмоль/м^3	1,0	0,5	2,0	0,5	1,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0
CB_0 , кмоль/м^3	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,5	1,0	3,0	1,0	2,0

Задача 2. Реакция 2A ↔ R + S протекает непрерывно в каскаде реакторов с перемешиванием. Объемный расход реагентов V_0 . Концентрация исходного вещества A равна CA_0 (концентрации CR_0 и CS_0 равны 0). Константа скорости прямой реакции составляет k_1. Константа равновесия равна K_C. Степень превращения составляет α от равновесной, т.е. xA = α xA*. Объемы ступеней каскада равны, и объем каждой ступени составляет 1/10 от объема единичного реактора смешения. Определить объем каскада реакторов. Исходные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_0, м^3/ч	2,5	2,8	3,0	2,85	2,5	2,75	2,3	2,8	3,0	2,75
CA_0, кмоль/м^3	10	15	25	20	18	25	16	21	14	18
k_1, м^3/ кмоль·ч	0,75	0,80	0,65	0,50	0,70	0,60	0,80	0,65	0,85	0,70
K_C	25	36	16	9	36	25	49	16	25	36
α	0,8	0,75	0,9	0,85	0,7	0,8	0,9	0,75	0,8	0,9

Задача 3. Рассчитать необходимое число труб в реакторе для получения изобутана с расходом G из н-бутана в результате его парофазной изомеризациина хлориде алюминия. Процесс протекает при температуре t и давлении P. Степень

конверсии н-бутана составляет α при времени реакции τ. Реактор собран из труб диаметром d и длиной l. Исходные данные представлены в табл.3.

Таблица 3

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G, т/ч	3,5	4,0	4,5	3,0	2,5	3,2	2,8	2,0	3,4	2,9
t, ºC	120	110	100	90	115	110	95	100	110	100
P, МПа	1,5	2,0	1,8	1,6	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8	1,4
α, %	40	50	42	55	45	50	43	52	48	54
τ, мин.	12	14	16	11	15	12	14	17	11	19
d, мм	120	140	160	100	80	100	120	80	100	120
l, м	5	7	9	6	5	8	7	5	8	6

Задача 4. Сравнить объемы непрерывно действующих реакторов идеального смешения и идеального вытеснения для проведения простой необратимой реакции A + B → R + S. Объемный расход реакционной смеси V_0. Концентрации исходных веществ A и B равны CA_0 и CB_0 соответственно (концентрации CR0 и CS_0 равны 0). Константа скорости реакции равна k. Степень превращения составляет xA. Исходные данные представлены в табл.4.

Таблица 4

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_0, $м^3/ч$	0,25	0,32	0,20	0,40	0,35	0,27	0,48	0,60	0,30	0,20
CA_0, $кмоль/м^3$	1,0	1,5	2,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
CB_0, $кмоль/м^3$	2,0	3,0	2,5	4,0	1,0	2,5	3,0	2,0	3,0	2,0
k,$м^3$/кмоль·ч	0,25	0,36	0,16	0,29	0,32	0,25	0,49	0,26	0,20	0,38
xA	0,8	0,75	0,9	0,85	0,7	0,8	0,9	0,75	0,8	0,9

Задача 5. Определить объем реактора идеального вытеснения для проведения простой необратимой реакции 2A → 3R + S , описываемой кинетическим уравнением первого порядка. Молярный расход реагента BA_0. Процесс протекает при температуре t и давлении P. Константа скорости реакции равна k. Степень превращения составляет xA. Исходные данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA_0, кмоль/с	0,25	0,32	0,20	0,40	0,35	0,27	0,48	0,60	0,30	0,20
t, ºC	160	200	180	220	170	250	200	160	240	190
P, кПа	2,0	3,0	2,5	4,0	1,0	2,5	3,0	2,0	3,0	2,0
$k \cdot 103$, $с^{-1}$	1,25	2,36	3,12	1,29	3,24	2,56	1,49	2,26	1,20	1,68
xA	0,8	0,75	0,9	0,85	0,7	0,8	0,9	0,75	0,8	0,9

Задача 6. Определить внутренний диаметр реактора для получения этилбензола путем алкилирования бензола этиленом. Массовый расход бензола равен G. Молярное соотношение бензол: этилен = n:1, конверсия этилена составляет α. Производительность реакционного объема по этилбензолу равна I. Штуцер для слива алкилата расположен на высоте h. Исходные данные представлены в табл.6.

Таблица 6

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G, т/ч	9,5	12,0	10,5	9,0	12,5	13,2	11,8	12,0	10,4	11,6
n	2,5	3,0	4,0	3,5	2,0	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0
I, кг/м^3·ч	170	200	180	160	190	170	150	220	180	240
α, %	93	89	92	90	88	85	93	90	86	91
h, м	5	7	9	6	5	8	7	5	8	6

Задача 7. Определить состав реакционной смеси на выходе из непрерывно действующего реактора идеального смешения объемом VP , если в нем протекает реакция A + 2B → 3R . Константа скорости реакции равна k. Объемный расход реакционной смеси V_0. Концентрации исходных веществ A и B равны CA_0 и CB_0 соответственно. Исходные данные представлены в табл.7.

Таблица 7

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VP, м^3	2,5	3,0	2,0	1,5	2,5	3,0	4,0	3,5	2,0	5,0
CA_0, кмоль/м^3	1,0	1,5	2,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
CB_0, кмоль/м^3	2,0	3,0	5,0	4,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
V_0, м^3/ч	2,5	1,5	1,0	1,5	1,25	3,0	2,0	1,75	2,0	2,5
k, м^3/кмоль^2·ч	0,92	0,75	0,87	0,81	0,72	0,88	0,96	0,72	0,84	0,91

Задача 8. Исходные реагенты A и B подаются в реактор отдельными потоками и смешиваются в определенном соотношении перед входом в реактор, в котором протекает простая необратимая реакция A + B → R + S. Объемный расход реагирующей смеси V_0. Концентрации исходных веществ A и B в отдельных потоках равны CA и CB соответственно. Соотношение между объемными расходами реагентов составляет VA : VB = 1 : n. Константа скорости реакции равна k. Степень превращения составляет xA. Объем единичного реактора в каскаде равен $V_р$, м^3. Сравнить объемы реактора идеального смешения периодического действия и непрерывно действующих реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Исходные данные представлены в табл.8.

Таблица 8

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_0, м^3/ч	9	24	13,5	30	18	27	12	24	18	21
CA, кмоль/м	2,0	1,8	2,5	1,5	2,0	1,4	2,0	1,2	1,6	1,0
CB, кмоль/м	3,0	3,6	2,5	3,0	2,0	2,8	3,0	1,8	2,4	2,0
k, л/моль·мин	0,52	0,46	0,58	0,49	0,52	0,42	0,55	0,47	0,51	0,48
xA	0,8	0,75	0,9	0,85	0,7	0,8	0,9	0,75	0,8	0,9
n	3	2	4	1,5	3	2,5	4	2	3	1,5
$V_р$, м^3	0,1	0,2	0,15	0,25	0,2	0,3	0,1	0,25	0,15	0,2

Задача 9. Определить внутренний диаметр реактора прямой гидратации этилена. В реактор поступает парогазовая смесь с расходом G. Исходные реагенты подают с массовым соотношением этилен : водяной пар = n : 1. Объемная скорость подачи газовой смеси V. Степень конверсии этилена составляет α. Селективность процесса β. Рассчитать удельную

производительность катализатора, если высота его слоя в реакторе составляет h. Исходные данные представлены в табл.9.

Таблица 9

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G, т/ч	50	60	70	55	60	45	70	30	55	50
$V \cdot 10^{-3}$, $ч^{-1}$	1,8	2,1	1,6	1,5	1,9	1,6	2,4	1,2	1,4	1,9
n	1,5	2,0	2,5	1,75	3,0	1,25	2,5	2,0	1,75	1,5
α, %	3,5	4,0	4,5	3,0	2,5	3,2	2,8	3,0	3,4	2,9
β, %	90	88	85	93	89	86	91	87	90	94
h, м	5	7	9	6	5	8	7	5	8	6

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знать: • теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа; • методы обработки результатов анализа; • виды современного технологического и аналитического оборудования, применяемого в химическом производстве.
Умения	Уметь: • подбирать необходимое технологическое оборудование; • выбирать метод анализа результатов научных исследований.
Навыки	Владеть: • методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования; • методами теоретического и эмпирического исследования технологических процессов.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание теоретических основ и принципов химических и физико-химических методов анализа	Не знает теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа	Частично знает теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа	Знает теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа	Знает в полном объеме теоретические основы и принципы химических и физико-химических методов анализа
Знание методов обработки результатов анализа	Не знает методы обработки результатов анализа.	Частично знает методы обработки результатов анализа.	Знает методы обработки результатов анализа.	Знает полном объеме методы обработки результатов анализа.

Знание видов современного технологического и аналитического оборудования, применяемого в химическом производстве	Не знает современное технологическое и аналитическое оборудование, применяемое в химическом производстве материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	Частично знает современное технологическое и аналитическое оборудование, применяемое в химическом производстве материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	Знает виды современного технологического и аналитического оборудования, применяемого в химическом производстве материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	Знает полном объеме виды современного технологического и аналитического оборудования, применяемого в химическом производстве материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение подбирать необходимое технологическое оборудование	Не умеет подбирать технологическое оборудование для производства материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	Допускает неточности при подборе технологического оборудования для производства материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	Умеет подбирать технологическое оборудование для производства материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.	В полном объеме умеет подбирать технологическое оборудование для производства материалов, влияющих на радиационную и электромагнитную безопасность.
Умение выбирать метод анализа результатов научных исследований.	Не умеет выбирать метод анализа результатов научных исследований	Допускает неточности при выборе метода анализа результатов научных исследований	Умеет выбирать метод анализа результатов научных исследований	В полном объеме умеет выбирать метод анализа результатов научных исследований

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владение методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования	Не владеет методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования.	Обучающийся имеет минимальные навыки владения методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования.	Имеет достаточные навыки владения методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования.	Уверенно и четко владеет методами анализа эффективности работы технологического и аналитического оборудования.
Владение методами теоретического и эмпирического	Не владеет методами теоретического и эмпирического	Обучающийся имеет минимальные навыки владения	Имеет достаточные навыки владения методами	Уверенно и четко владеет методами теоретического и эмпирического

исследования технологических процессов.	исследования технологических процессов.	методами теоретического и эмпирического исследования технологических процессов.	теоретического и эмпирического исследования технологических процессов.	исследования технологических процессов.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1.	Учебная лаборатория № 302	интерактивная доска, проектор, компьютер

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная (Соглашение Microsoft Open Value SubscriptionV6328633	Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2020). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017.
2	Microsoft Office Professional Plus 2016 (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633	Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2020). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017.
3	Kaspersky Endpoint Security «СтандартныйRussian Edition».	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018.
4	Google Chrome.	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

6.3.1. Перечень основной литературы

1. Косинцев В.И. и др. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов / Под ред. А.И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008.– 332 с.

6.3.2. Перечень дополнительной литературы

1. Кутепов А.М. Общая химическая технология: учеб. для вузов/ Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен. – 3 изд., перераб. – М:ИКУ Академкнига, 2003
2. Соколов Р.С. Химическая технология: Учеб. пособие. т. 1. –М: Гуманит. изд. центр Владос, 2000.
3. Соколов Р.С. Химическая технология: Учеб. пособие. т. 2. –М: Гуманит. изд. центр Владос, 2000.
4. Смирнов Н.Н. Химические реакторы в примерах и задачах/ Смирнов Н.Н. – Л: Химия, 1986
5. Бесков С.Д. Химические расчеты/ Бесков С.Д. – М.: Высшая школа. – 1986

6. Мухленов Н.П. Общая химическая технология: учеб. для вузов. ч. 1/Мухленов Н.П.– М. Высшая школа, 1984
7. Мухленов Н.П. Общая химическая технология: учеб. для вузов. ч. 2/Мухленов Н.П.– М. Высшая школа, 1984

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. http://elibrary.ru
2. http://e.lanbook.com
3. http://www.consultant.ru
4. http://normacs.ru/
5. https://elib.bstu.ru/ Reader/Book

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 20____ /20____ учебный год без изменений / с изменениями, дополнениями

Протокол № _____ заседания кафедры от «____»_____ 20___ г.

Заведующий кафедрой_____
подпись, ФИО

Директор института _____
подпись, ФИО